

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Кондратюк Олександр Леонідович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи генераторних
установок для сільськогосподарських машин**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Палійчук В.К.

к.т.н., доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Кондратюк Олександр Леонідович. Обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи генераторних установок для сільськогосподарських машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

У роботі обґрунтовані раціональні параметри і режими роботи генераторної установки на два рівня напруги для електропостачання бортових систем сільськогосподарських машин.

Виконаний в роботі аналіз показав, що в даний час системи електропостачання сільськогосподарських машин не задовольняють основним вимогам, що пред'являються до генераторної установки, як основного елементу системи електропостачання. Назріла необхідність обґрунтування і розробки конструкції генератора на два рівня напруги 12/24 В, що володіє хорошими техніко - економічними показниками, високою надійністю і якістю випрямленої напруги на обох рівнях.

У роботі запропонована і досліджена конструкція генератора з двома трансформаторно зєднаними обмотками. Встановлено, що ГДР забезпечує будь-який розподіл потужності навантаження між рівнями, має при рівних або трохи менших втратах додаткову витрату електротехнічних матеріалів близько 40% від якірної міді і сталі зубців статора.

Ключові слова: генераторна установка, напруга, конструкція, електропостачання, сільськогосподарські машини.

ANNOTATION

Kondratyuk Alexander Leonidovich. Substantiation of rational parameters and modes of operation of generator sets for agricultural machines.
– *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The rational parameters and modes of operation of the generator set for two voltage levels for power supply of onboard systems of agricultural machines are substantiated in the work.

The analysis performed in the work showed that currently the power supply systems of agricultural machinery do not meet the basic requirements for the generator set, as the main element of the power supply system. There is a need to substantiate and develop the design of the generator for two voltage levels of 12/24 V, which has good technical and economic performance, high reliability and quality of rectified voltage at both levels.

The design of the generator with two transformer-connected windings is offered and investigated in the work. It is established that the GDR provides any distribution of load power between the levels, has at equal or slightly lower losses the additional consumption of electrical materials about 40% of the anchor copper and steel of the stator teeth.

Key words: generator set, voltage, construction, power supply, agricultural machines.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ГЕНЕРАТОРНА УСТАНОВКА ЯК ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	9
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО КОНСТРУКЦІЇ І СХЕМІ ГЕНЕРАТОРІВ НА ДВА РІВНЯ НАПРУГИ (ГДР).....	16
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ НА ДВА РІВНЯ НАПРУГИ.....	24
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Розвиток сільськогосподарського виробництва відповідно до закономірностям технічного прогресу призводить до невпинного зростання потреби в електроенергії для виконання трактором і комбайном своїх різноманітних функцій. Прагнення підвищити конкурентоспроможність сільськогосподарської техніки призводить до зростання кількості і потужності встановленого на них електроустаткування, що поліпшує споживчі та експлуатаційні властивості комбайнів і тракторів. Це вимагає від розробників систем електропостачання сільськогосподарської техніки створення генераторних установок з високими характеристиками потужності показників, які можуть забезпечити виконання різноманітних і життєво важливих для працездатності і продуктивності тракторами і комбайнами функцій, починаючи від пуску двигуна і закінчуючи кондиціонуванням повітря в кабіні. Тільки завдяки застосуванню електричної енергії стає можливою продуктивна повноцінна експлуатація тракторів і комбайнів в будь-який час доби, в будь-яких кліматичних умовах.

Технічний прогрес в області сільськогосподарського електроустаткування неможливий без відповідного вдосконалення генераторних установок - головних автономних бортових джерел електроенергії. Вимоги до них, як по відношенню до потужності, так і по відношенню до ряду найважливіших технічних характеристик, таких, як автоматичне регулювання напруги, безвідмовність, довговічність і т.п., - безперервно ростуть.

В даний час в бортових мережах-тракторів, комбайнів і тракторів і самохідних сільськогосподарських застосовуються номінали напруг 12 (14) і 24 (28) В. Велика група споживачів, зокрема всі електродвигуни, електростартер мають великий ресурс, кращі показники надійності і масогабаритні показники при номіналі напруги 24 В. В той же час лампи розжарювання на 12 в мають майже в троє більший ресурс, ніж аналоги на 24 В. В застосовуваних системах

електропостачання сільськогосподарських машин базовий генератор виконаний на напругу 14 В, а додатковий малопотужне джерело - перетворювач напруги забезпечує підзарядку другої акумуляторної батареї, що дозволяє перевести на 24 В систему електропуску. Таке рішення відносно просте, але не вирішує кардинально проблему оскільки включення на 24 В потужних споживачів електроенергії неможливо.

Тому розробка генератора з двома трансформаторно зв'язаними обмотками, що забезпечує підключення навантаження на повну потужність до будь-якого з рівнів або при довільному розподілі навантаження за рівнями напруги є актуальним завданням сучасного сільськогосподарського машинобудування.

Мета і задачі дослідження. Обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи генераторних установок для сільськогосподарських машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- Виконати аналіз електропостачання бортових систем сільськогосподарської техніки та обґрунтувати конструкцію генераторної установки.
- Розробити методику розрахунку балансу електроенергії на тракторі і комбайні, що враховує особливості ГДР і специфіку підключення акумуляторних батарей до різних джерел живлення.
- Обґрунтувати рекомендації з проектування генераторів на два рівня напруги з урахуванням умов компоновки на двигуні трактора або комбайна і виконати розрахунок техніко-економічної ефективності запропонованих технічних рішень.

Об'єкт дослідження: Об'єктом досліджень є багатофазний індукторний генератор з вентильним перетворювачем на два рівня напруги.

Предмет дослідження: закономірності, функціонування багатофазних індукторних генераторів з вентильними перетворювачами.

Методи дослідження. При виконанні роботи застосовувалися аналітичні та експериментальні методи дослідження особливостей робочого процесу багатофазних індукторних генераторів з напівпровідниковим випрямлячем, які могли сприяти вирішенню поставлених завдань з розробки перспективного генератора з високими техніко-економічними показниками для сільськогосподарської техніки: основні положення теорії поля, чисельні методи рішення диференціальних рівнянь, чисельні методи апроксимації функції, математична обробка та статистичний аналіз експериментальних даних із застосуванням комп'ютерної техніки при використанні спеціальних прикладних пакетів комп'ютерних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Кондратюк О. Л.** Генераторна установка як елемент системи електропостачання сільськогосподарських машин. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 197-198.

2. Палійчук В.К., **Кондратюк О. Л.** Особливості розрахунку магнітного поля електричних машин. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.) Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 716-718.

3. Палійчук В. К., **Кондратюк О. Л.** Генераторні установки як елемент системи електропостачання мобільних машин для тваринництва. IX Міжнародна науково-технічна конференція *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»* (05-24 жовтня 2020 р.). [Електроний ресурс] – <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути впроваджені в підприємствах агропромислового комплексу Житомирської області.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту, містить 3 таблиці і 9 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ГЕНЕРАТОРНА УСТАНОВКА ЯК ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Система електропостачання сільськогосподарських машин є складним комплексом різних пристроїв, машин і апаратів, призначених для виробництва електроенергії необхідного виду, кількості і якості, її розподілу і передачі до споживачів системи електропостачання - це сукупність систем генерування та розподілу електроенергії. Структура системи електропостачання залежить від великої кількості факторів, перш за все від комплексу загальних і приватних вимог до самої системи електропостачання та її елементів [1-4].

Вибір типу електричної машини, використовуваної в якості генератора в системі електропостачання, магнітної системи і конструктивного виконання електричної машини - порівняно складна і багатопараметрична задача. Критеріями оптимальності можуть служити відносна вартість, надійність, енергетичні та вагові показники і т.п [3-5].

Довгий час основним джерелом електроенергії комбайнів і тракторів були генератори постійного струму, наприклад Г80 і Г214-А1. В даний час очевидно, що необхідний рівень надійності і довговічності генераторних установок сільськогосподарської техніки не може бути забезпечений при застосуванні для цієї мети електричних машин постійного струму. Органічно властивий їм щітково-колекторний вузол неминуче обмежує зазначені показники, вимагає спеціального обслуговування і часто призводить до відмов у роботі. Крім того, зі збільшенням потужності і кількості споживачів електричної енергії на сільськогосподарських машинах, розміри і маса генераторів постійного струму різко зростають. Отже, вдосконалення конструкції і технології виробництва генераторів постійного струму, з огляду на низьку надійність роботи в експлуатації щітково-колекторного вузла і малий термін його служби, а також великі габарити і вага генератора, практично виявилось нездійсненним. У

зв'язку з цим, створення електричних машин, в яких колектор замінюється напівпровідниковим випрямлячем, стало однією з найбільш актуальних завдань електромашинобудування.

Розвиток напівпровідникової техніки дозволив застосовувати в генераторах змінного струму випрямляч на напівпровідникових діодах. При цьому генератор отримав таку якість, яка забезпечила йому широке поширення в сільськогосподарському машинобудуванні [6].

Найбільш перспективними системами електропостачання сільськогосподарських машин є системи, виконані як органічне поєднання електричної машини і напівпровідникового випрямляча.

Основним елементом, що забезпечує генерування електроенергії в системах електропостачання сільськогосподарських машин, у даний час є генераторна установка змінного струму з вентильним випрямлячем.

В якості автономного джерела змінного струму застосовувався синхронний генератор з контактними кільцями Г285 на тракторах К-700. Тут щітковий контакт працює в кращих умовах порівняно з генератором постійного струму, з огляду на явища комутації. Тому його надійність і довговічність значно вище. Однак важкі умови роботи сільськогосподарської техніки робить взагалі небажаним застосування в них ковзань щіткових контактів. Тут неминучість зносів в такому вузлі є обмежуючим чинником, що ставить межу можливостям збільшення довговічності і міжремонтних робіт, знижує надійність і ускладнює обслуговування, що особливо небажано [7-9].

Найбільшого поширення в якості джерела електроенергії в системах електропостачання комбайнів і тракторів отримали безконтактні електричні машини. Відсутність ковзних контактів з точки зору надійності є важливою перевагою, здатним в цілому ряді випадків компенсувати деякі властиві цим машинам недоліки.

Зазвичай безконтактні електричні машини, внаслідок ускладнення конструкції, наявності додаткових повітряних зазорів або баластної складової

магнітного потоку, програють в показниках використання і вартості в порівнянні з іншими машинами. Однак в деяких випадках при їх застосуванні для спеціальних цілей (до яких можна віднести і сільськогосподарські машини), облік всіх конкретних факторів дозволяє отримати кращі результуючі техніко-економічні показники, тим більше, що вигреш в надійності їх безсумнівний.

З усього різноманіття відомих типів електричних машин, з точки зору вимог, що пред'являються до генераторів сільськогосподарських машин, практичний інтерес представляють найбільш прості в конструктивному відношенні машини. Саме простота конструкції є найважливішою передумовою експлуатаційної надійності, а також технологічності, дешевизни, зручності обслуговування і ремонту [10].

В цьому відношенні доцільно зосередити увагу на електричних машинах, які не мають обертових обмоток. Ця обставина, як з точки зору надійності, так і простоти устрою і управління, має найважливіше значення.

Все різноманіття типів безконтактних електричних машин, згідно з фізичної сутності процесів, що відбуваються в них можуть бути поділені на два принципово різних класи: пульсації і альтернативні. Всі ці електричні машини можуть виконуватися магнітоелектричним (від постійних магнітів), електромагнітним (від обмоток) і комбінованим способом збудження.

На тракторах і комбайнах старих марок як джерело електричної енергії застосовували генератори змінного струму зі збудженням від постійних магнітів, наприклад Г30-А2, Г31-А2, Г32-А2, Г46, Г303, ГТ1-А. Магнітоелектричні генератори мають просту конструкцію ротора, мають високу експлуатаційну надійність, в ряді випадків за масогабаритними і енергетичними показниками вони перевершують електричні машини з електромагнітним збудженням. Широке поширення ці генератори отримали як підбуднювачі в машинах з обертовими випрямлячами і електромагнітними перетворювачами, як промислового стаціонарного використання, так і на транспортних машинах. Головним недоліком магнітоелектричних генераторів є

складність регулювання і стабілізації вихідної напруги, невисокий температурний режим роботи, також труднощі в забезпеченні надійного кріплення постійних магнітів в пазах ротора при його значній швидкості обертання. Тому в даний час проблема застосування магнітоелектричних генераторів не знайшла широкого застосування для електропостачання тракторів і комбайнів [11-13].

Найбільшою простотою конструкції і технологічністю у виробництві серед безконтактних вентильних генераторів мають індукторні генератори, які не мають обертових обмоток. Вони мають високий ККД, хороші регулювальні характеристики і можливість роботи в складних умовах навколишнього середовища. Генератори індукторного типу виконуються як з електромагнітним, так і з комбінованим збудженням. Особливий інтерес представляють генератори комбінованого збудження, що поєднують в собі якості магнітоелектричної машини і генератора з електромагнітним збудженням. У цьому випадку рішення проблеми регулювання напруги надзвичайно полегшується. В [7,8] показано, що в якості генераторної установки для електропостачання сільськогосподарських машин може бути обраний індукторний генератор.

В останні роки на тракторах і комбайнах в якості джерела електричної енергії почали застосувати індукторні генератори, наприклад Г-302, Г-304, Г-305, Г-306 і Р-309. У таблиці 1.1 наведені типи генераторів і марки тракторів і комбайнів, на які їх встановлюють [14].

Генератори встановлені на сільськогосподарській техніці працюють у важких умовах при великій завантаженості і підвищеній температурі навколишнього середовища і високому рівні вібрації. Ці обставини ускладнюють проблему забезпечення високої надійності і довговічності генераторних установок сільськогосподарської техніки.

Таблиця 1.1 – Типи генераторів і марки тракторів і комбайнів

Тип генератора	Місце установки (трактор, комбайн)
Г-80	ДТ-20, ДТ-20С5, ДТ-20К, ДВСШ-16, Т-16
Г-81	Т-28М, МТЗ-5МС, МТЗ-50
Г-214-А1	ДТ-75, СХ-4, ДТ-54А, Т-74, СШ-75
Г-224	Т-50В
Г-285	К-700
ГТ-1А	Т-100М
Г-304	Т-25А, Т-28Х4, Т-54В, Т-54С, Т-4, Т-4А, Т-4М
Г-306	Т-4, Т-4А, Т-4М
Г-309	ТТ-4, Т-100, Т-130

Виходячи з викладеного можна сформулювати основні вимоги, які повинен задовольняти перспективний генератор встановлений на сільськогосподарській техніці:

1. Термін служби - не менше 5000-6000 мотогодин при високому рівні надійності (замість 2000-3500 мотогодин у генераторів постійного струму).
2. Невимогливість до технічного догляду та регулювань в експлуатації.
3. Можливість економічного і точного автоматичного регулювання напруги при зміні швидкості обертання і навантаження в широких межах.
4. Низькі початкові обороти віддачі, що виключають розряд акумуляторної батареї на обмотку збудження генератора при мінімальних швидкостях обертання двигуна сільськогосподарської машини.

$$n_{\text{нач}} \leq 0,4n_{\text{ном}},$$

де $n_{\text{нач}}$ - початкові обороти віддачі генератора,

$n_{\text{ном}}$ - номінальна швидкість обертання генератора.

5. Закрите виконання, що забезпечує надійну роботу при високій забрудненості навколишнього середовища.

6. Можливість роботи в широкому діапазоні температур і кліматичних умов.

7. Повне випрямлення потужності, можливість роботи в комплексі з напівпровідниковим випрямлячем.

У таблиці 1.2 наведені технічні характеристики генераторів постійного і змінного струму, що встановлюються на трактори і комбайни.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики генераторів

Тип генератора	Г-21Ф-А1	Г285	Г306	Г309
Конструкція	постійного струму	змінного струму з контактними кільцями	безконтактні, змінного струму синусоїдального типу	
Особливості	з електромагнітним збудженням		з електромагнітним збудженням закритого виконання	
Номінальна потужність $P_n, \text{Вт}$	180	1000	400	1000
Номінальна напруга $U_n, \text{В}$	12,5	12,5	14	14
Швидкість початку віддачі $n_{\text{нач}}, \text{об/хв}$	1750	1500	1500	1250
Швидкість розрахункова $N_{\text{роз}}, \text{об/хв}$	2600	3500	2500	3000
Ресурс генератора $T, \text{час}$	2000	3500	6000	6000

Аналіз технічних характеристик генераторів (табл. 1.2) показує, що найбільш загальні вимоги до генераторів, встановленим на тракторах і комбайнах, знаходяться в відомому протиріччі між собою. Різні типи електричних машин різного ступеня задовольняють кожному з цих умов. Крім того, кожен з типів генераторів має специфічні перевагами і недоліками. У той же час багатюща різноманітність

відомих типів електричних генераторів настільки велика, що немає необхідності у винаході спеціального генератора для тракторів і комбайнів. Основне завдання полягає в обґрунтованому виборі з усього різноманіття відомих в сучасній техніці типів електричних генераторів того, який в оптимальних умовах задовольняв би сучасні вимоги до перспективних генераторів, для сільськогосподарської техніки.

Висновки по розділу 1

Аналіз генераторних установок показує, що найбільш перспективними генераторами з точки зору надійності, довговічності, невимогливості до технічного догляду та регулювань в експлуатації є безконтактна електрична машина індукторного типу. У той же час різноманіття функцій, які виконуються сучасними тракторами і комбайнами, різноманітність їх роботи, підвищення вимогливості до зручності експлуатації і управління ними, прагнення до автоматизації, поява на тракторах і комбайнах електроспоживачів на два рівня напруги не може бути забезпечено сучасною генераторної установкою. Тому в даний час практично відсутні надійні і відносно недорогі генераторні установки, що задовольняють вимогам для сільськогосподарських машин.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО КОНСТРУКЦІЇ І СХЕМІ ГЕНЕРАТОРІВ НА ДВА РІВНЯ НАПРУГИ (ГДР)

Як впливає з проведеного огляду, практичним конструктивним рішенням, що забезпечує можливість отримання повної потужності генератора на два рівня напруги з її розподілом за рівнями пропорційно навантаженню, є застосування двохобмоточного генератора. Причому обидві обмотки укладені паралельно в одних і тих же пазах і трансформаторно пов'язані. Укладання обмоток в пазу і схема їх з'єднань показана на рис.2.1 на прикладі пятифазного генератора.

Одна багатofазна обмотка зі своїм випрямлячем підключена до нижньої батареї, а друга обмотка зі своїм випрямлячем підключена до верхньої батареї. Батареї з'єднані послідовно, а навантаження кожного рівня підключено між виходом "+" відповідного випрямляча і загальним мінусом. У бортових мережах автомобілів і тракторів загальним мінусом "масою" є металевий корпус. Для спрощення подальшого викладу вводимо терміни (скорочення), пов'язані зі специфікою генератора на два рівня напруги (ГДР).

Пристрої і величини, що відносяться до напруги з номіналом 12 В (обмотки, випрямляч, виходи й проводки, струми, напруги, батарея, навантаження, споживачі), характеризуються допоміжними і індексами - "нижній" і "перший".

Те ж, що відноситься до напруги 24 В - "верхній" і "другий".

Генератор на 12В на базі електромагнітної системи якого виконаний ГДР і з яким відповідно порівнюються його показники - "базовий генератор".

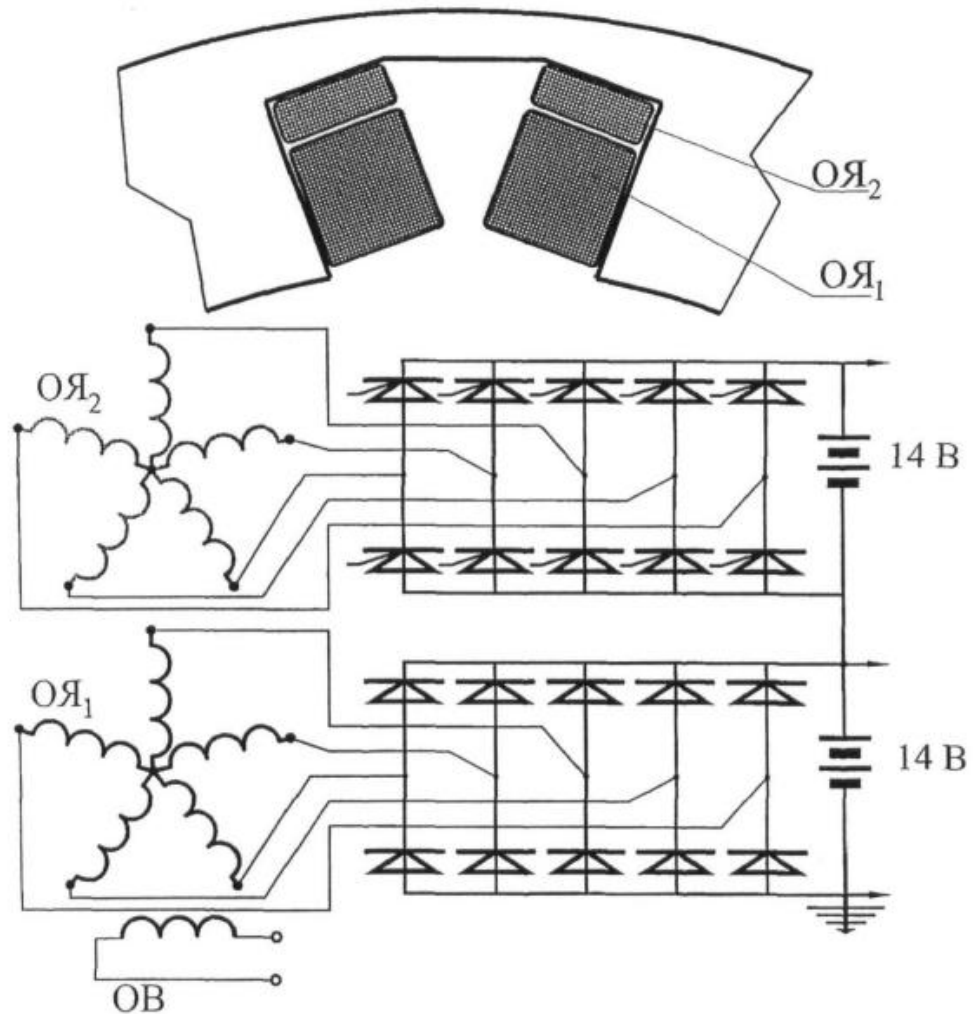


Рис. 2.1. Схема генератора на два рівня напруги

Число витків верхньої обмотки дорівнює або трохи більше, ніж у нижній. Схеми з'єднання і випрямлення однакові. Нижній випрямляч зібраний на некерованих діодах, в верхньому випрямлячі все або частину діодів є тиристорами.

Один з варіантів регулювання напруги на обох рівнях:

- Напруга нижнього рівня підтримується на заданому рівні за допомогою звичайного регулятора напруги, що впливає на струм обмотки збудження, а на його вимірювальний вхід подається вихідна напруга нижнього випрямляча. При цьому в силу трансформаторного зв'язку напруга на виході другого випрямляча дорівнює або трохи більше напруги на нижній батареї.

- Напруга верхнього рівня коригується в меншу сторону установкою кута комутації тиристорів. Вимірювальний елемент цього регулятора підключений не до напруги 28 В, а до верхньої батареї і підтримує напругу на ній. Інакше можливо

критичний стан верхньої батареї. При цьому з огляду більшої вартості тиристорів в більшій частині плечей випрямляча встановлені звичайні некеровані діоди.

Розглянемо наступні основні питання проектування ГДР на базі "базового" генератора: зміна конструкції; визначення параметрів верхньої обмотки і верхнього випрямляча;

Оскільки режими роботи базового генератора при повному навантаженні і ГДР при підключенні всього навантаження на нижню сторону ідентичні, відповідно нижня обмотка і нижній випрямляч повинні бути ідентичні обмотці і випрямлячу базового генератора.

Очевидні наступні відмінності ГДР від базового генератора: з'являється додатковий верхній випрямляч з тиристорами, розміщення якого, а також підвідних лінійних проводів представляє певні труднощі; в зв'язку з появою додаткової верхньої обмотки паз статора повинен збільшитися в висоту, тому що нижня обмотка залишається незмінною, відповідно зовнішній діаметр статора збільшується.

Досліджуємо, наскільки ГДР відрізняється від базового генератора тієї ж потужності, виконаний на одну напругу нижнього рівня U_n . При цьому інтерес представляє, наскільки збільшаться витрати матеріалів і габарити.

Магнітні системи генераторів і, отже, електромагнітні потужності однакові. Природна умова при виборі параметрів типорозміру подвійної напруги - перевищення температур повинні бути не вище, ніж у базової моделі.

Перевищення температури зовнішнього шару секції обмотки (котушки) прямо пропорційно відношенню втрат в котушці до її поверхні, що межує з тепловідвідними середовищами. В даному випадку тепловідвід здійснюється через стінки паза, повітряний канал всередині паза і в його розкритті, а також в повітря в лобових областях. Струм навантаження зверху протікає одночасно в котушках нижньої і верхньої обмоток, тому що по суті вони з'єднані послідовно (через діоди випрямлячів). Отже, втрати при цьому мають місце і в нижній і у верхній обмотках.

Повна поверхня охолодження котушок в порівнянні з базовою моделлю дещо більше в зв'язку зі збільшенням розмірів паза.

Порівнюємо режим роботи базового генератора при повному навантаженні з режимом роботи ГДР при повному навантаженні зверху, відповідно навантаження на нижньому боці відсутнє.

Введемо позначення і розглянемо основні співвідношення в котушках:

I_6 - діюче значення струму в котушці базового генератора при повному навантаженні, А;

I_n - ток в нижній котушці ГДР при повному навантаженні, А.; При цьому навантаження у верхній стороні відсутнє $I_n = I_6$;

I_v - ток в котушках ГДР при повному навантаженні на верхній стороні, А. При цьому навантаження в нижньому боці відсутнє і струми в верхній і нижній котушках рівні $I_v = 0,5 I_6$;

L_{s6} , L_{sn} , L_{sv} - довжина середнього витка котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, м., $L_{s6} = L_{sn} = L_{sv}$;

W_6 , W_n , W_v - число витків котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, $W_6 = W_n = W_v$;

S_6 , S_n , S_v - площа поперечного перерізу котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, м²; $S_n = S_6$;

K_{z6} , K_{zn} , K_{zv} - коефіцієнт заповнення котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, $K_{z6} = K_{zn} = K_{zv}$;

ρ - питомий опір міді;

R_6 , R_n , R_v - активний опір котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, Ом, $R_n = R_6$.

Активний опір базової котушки визначається за формулою:

$$R_6 = \rho W_6^2 L_{s6} / (S_6 K_{z6}) \quad 2.1$$

Формула (2.1) вірна і для опорів котушок ГДР при підстановці відповідних індексів.

d - щільність міді, кг / м³;

G_6, G_n, G_v - маса котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, кг, $G_n = G_6$,

$$G_6 = d L_{s6} S_6 K_{z6} \quad 2.2$$

Формула (2.2) вірна і для мас котушок ГДР при підстановці відповідних індексів.

Π_6, Π_n, Π_v - периметр поперечного перерізу котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, м;

$$\Pi_n = \Pi_6;$$

S_{o6}, S_{on}, S_{ov} - площа зовнішньої поверхні (поверхня охолодження) котушки відповідно базового генератора, нижньої котушки ГДР і верхньої котушки ГДР, m^2 , $S_{o6} = S_{on} = S_n \Pi_6$; $S_{ov} = L_{sv} \Pi_v$.

Залежність між площею поперечного перерізу і периметром поперечного перерізу для котушок ГДР і базового генератора в разі їх геометричної подоби (площа пропорційна квадрату лінійних розмірів):

$$S_6 = S_n = a \Pi_6^2; \quad S_v = a \Pi_v^2; \quad 2.3$$

де a - коефіцієнт пропорційності, що залежить від форми поперечного перерізу котушки.

Визначимо, які повинні бути параметри верхньої котушки за умови, що при максимальному навантаженні на верхню сторону питомий тепловий потік через поверхню охолодження верхньої котушки зберігається рівним питомий тепловому потоку котушок базового генератора. При цьому перевищення температури верхньої котушки при однаковій зовнішньої ізоляції котушок буде приблизно рівним перевищенню температури котушок базового генератора.

Максимальні втрати в котушці базового генератора визначаються формулою:

$$\Delta P_6 = I_6^2 R_6 = I_6^2 \rho W_6^2 L_{s6} / (S_6 K_{z6}) = I_6^2 \rho W_6^2 L_{s6} / (K_{z6} a \Pi_6^2) \quad 2.4$$

Питомий тепловий потік через поверхню котушки базового генератора дорівнює:

$$P_{u6} = \Delta P_6 / S_{o6} = I_6^2 \rho W_6^2 / (K_{z6} a \Pi_6^2) \quad 2.5$$

Аналогічно можна записати формулу для питомого теплового потоку через поверхню верхньої котушки ГДР:

$$P_{uv} = I_v^2 \rho W_v^2 / (K_{zv} a \Pi_v^2) \quad 2.6$$

Прирівнюємо $P_{uv} = P_{ub}$ при наступних виконуваних умовах:

$$K_{zv} = K_{zb}; \quad W_v = W_b.$$

Враховуючи, що $I_v = 0,5 I_b$, отримаємо $\Pi_v = 0,63 \Pi_b$.

Таким чином периметр верхньої котушки при збереженні форми поперечного перерізу може бути зменшений до 0.63 від периметра базової котушки. При цьому, як випливає з (2.3), площа поперечного перерізу верхньої котушки дорівнює $S_v = S_b (\Pi_v / \Pi_b)^2 = 0.4 S_b$

Якщо перетин верхньої котушки менше базової в 0,4 рази, то при однаковій довжині і числі витків перетин провідників і маса будуть відповідно менше базової. З (2.1) і (2.2) отримаємо:

$$G_v = 0,4 G_b; \quad R_v = R_b / 0,4.$$

Коефіцієнт опору верхньої обмотки дорівнює: $K_r = R_v / R_b = 2,5$

$$G_v = G_b / K_r \quad 2.7$$

Визначимо втрати в котушках ГДР при повному навантаженні на верхній стороні і відповідно відсутності навантаження на нижньому боці.

$$\Delta P_v = I_v^2 (R_n + R_v) = 0,25 I_b^2 R_b (1 + K_r) = 0,25 \Delta P_b (1 + K_r). \quad 2.8$$

$$\text{Звідки } \Delta P_v = 0,875 \Delta P_b$$

де, ΔP_v - втрати в котушках ГДР при повному навантаженні на верхній стороні.

Ми бачимо, що в даному випадку витрата міді у верхній обмотці ГДР становить 0,4 від маси нижньої обмотки, а втрати в обмотках при повному зніманні потужності з верхнього рівня менше в 0.875 рази ніж при повному зніманні потужності в базовому генераторі або з нижнього рівня ГДР. Слід зазначити, що наведені вище висновки не цілком суворі, тому що верхня котушка не цілком геометрично подібна нижньої. Їх ширина дорівнює і тому висота верхньої котушки зменшується в більшій мірі. Це несуттєво впливає на

висновки, оскільки теоретично розглянуто випадок, більш важкий з точки зору тепловіддачі. Фактичні відступи від розглянутої форми покращують тепловіддачу. В даному випадку фактична висота верхньої котушки складе 0,4 від висоти нижньої (базової) котушки. Тобто, в залежності від конкретних особливостей конструкції, ймовірно, втрати в обмотках ГДР можна і збільшити в порівнянні з розглянутим випадком.

Розглянемо випадок, коли втрати в обмотках при повному зніманні потужності з верхнього рівня ГДР дорівнюють втратам в обмотках базового генератора. Прирівнюємо втрати і з (2.8) і (2.7) отримаємо:

$$I = 0,25 (I + K_r); K_r = 3; G_v = G_6 / 3 = 0,333 G_6$$

При цьому висота верхньої котушки відповідно складе 0,333 від нижньої.

Порівняємо втрати в випрямлячах з втратами у випрямлячі базового генератора. Діоди в верхньому випрямлячі мають приблизно такі ж характеристики, як і нижнього, за винятком кількох керованих діодів (тиристорів). При повному навантаженні зверху кожен випрямляч випрямляє струм удвічі менший, ніж випрямляч базового генератора при повному навантаженні. Тому втрати в кожному з випрямлячів більш ніж удвічі менше втрат в базовому випрямлячі і в сумі менше ніж втрати в базовому випрямлячі.

Втрати в залізі зубців статора в ГДР збільшені в порівнянні з базовим генератором паралельно зі збільшенням маси зубців. Це практично непомітно, оскільки в тракторних генераторах втрати в залізі значно менші втрат в міді.

Висновки по розділу 2

В результаті вищевикладеного прийшли до наступних висновків.

1. Нижня обмотка і нижній випрямляч ГДР повністю ідентичні обмотці і випрямлячу базового генератора.

2. Верхня обмотка ГДР виконується проводом з перетином 0,33 – 0,4 від перетину дроту нижньої обмотки. Відповідно її маса і висота котушки в стільки ж разів менше ніж в нижній обмотці.

3. Глибина паза в ГДР, відповідно висота зубців статора, становить 1,33 – 1,4 від висоти зубців статора базового генератора.

4. Маса ГДР в порівнянні з масою базового генератора збільшується на 0,33 – 0,4 маси якірної міді і 0,33-0,4 маси зубців статора, а також на масу додаткового випрямляча. Додатковий верхній випрямляч може мати вдвічі менший за площею тепловідвід ніж випрямляч базового генератора. Маса всіх інших елементів ГДР і базового генератора можуть зберігатися однаковими.

5. Втрати в міді якоря і в випрямлячах ГДР не більше відповідних втрат в базовому генераторі. Втрати в залізі зубців статора в ГДР збільшені в 1,33 – 1,4 рази.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ НА ДВА РІВНЯ НАПРУГИ

Описані нижче варіанти ГДР спроектовані на базі генератора 98.3701 потужністю 2кВт для комбайнів «Дон». Модернізація бортової схеми і введення подвійного рівня напругень спричинений необхідністю підвищення надійності системи електропуску і поліпшення умов праці шляхом установки кондиціонера (потужністю 1.6 кВт на напругу 24В). Мета модернізації - підвищення конкурентноздатності комбайна.

На рис. 3.1 і 3.5 приведена конструкція базової моделі генератора. На рис. 3.2, 3.3, 3.6 і 3,7 показана конструкція ГДР спроектована за загальновідомою методикою. На рис. 3.4 показана конструкція однієї половини випрямляча.

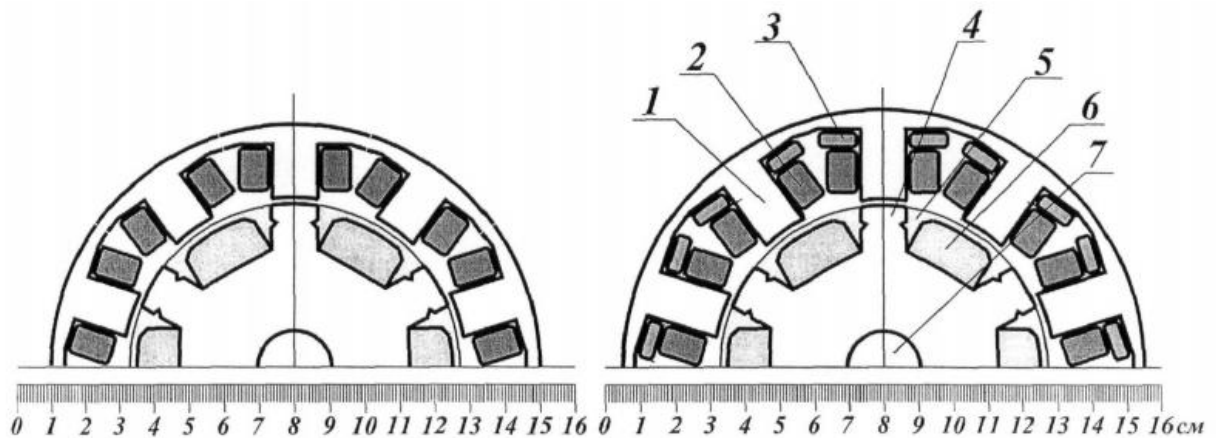


Рис. 3.1 Поперечний розріз базової моделі генератора (варіант 1)

Рис 3.2 Поперечний розріз ГДР (варіант 2):

- 1 - залізо статора;
- 2 - обмотка нижнього рівня;
- 3 - обмотка верхнього рівня;
- 4 - залізо ротора;
- 5 - заливка магніту (арматура);
- 6 - постійний магніт;
- 7 - вал ротора

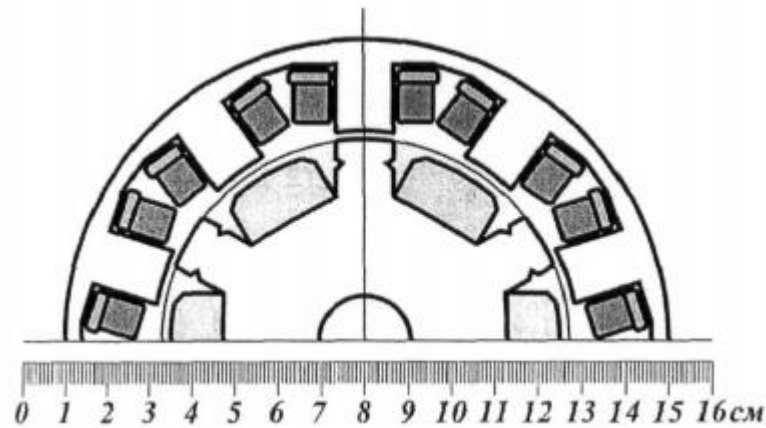


Рис.3.3 Поперечний розріз ГДР (варіант 3)

На рис. 3.1 - 3.3 наведені поперечні розрізи активної зони генераторів. Пакет заліза статора в варіанті 2 відрізняється від бази і варіанту 3 більшою глибиною паза і відповідно більшою величиною зовнішнього діаметра. Базова обмотка в варіанті 1 і нижня обмотка в варіанті 2 однакові. Обидві обмотки в варіанті 3 в порівнянні з варіантом 2 виконані з меншим числом витків проводами меншого діаметру відповідно до відомих методик і рекомендацій.

Активна частина ротора по всіх варіантах однакова, яка складається з пакета заліза ротора насадженого на вал і магнітів в пазах ротора залитих стіклонаповненим поліамідом. В даному випадку застосовані анізотропні оксидно-барієві магніти. Вони служать для надійного самозбудження і в деякій мірі покращують масогабаритні показники. Число зубців статора Z_1 дорівнює 10, ротора Z_2 дорівнює 6, машина п'ятифазна.

На рис. 3.4 зображена одна половина випрямляча.

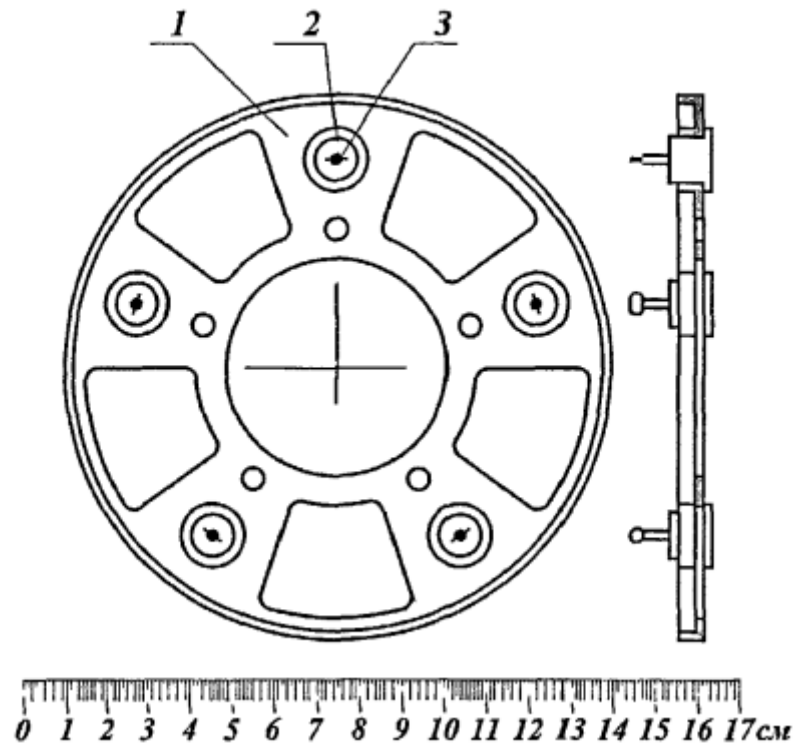


Рис. 3.4. Конструкція однієї половини випрямляча:

- 1 - алюмінієвий тепловідвід;
- 2 діод ВА-35 (Д-105);
- 3 - лінійний вихід (штенгель діода).

Алюмінієва пластина в яку запресовані 5 діодів (спеціальне виконання під запресовку), є одночасно корпусом виходом однієї полярності і тепловідводом. До виходів діодів (штенгелям) приєднуються лінійні виходи обмотки.

На рис. 3.5 - 3.7 наведені поздовжні розрізи базового генератора і ГДР. Варіант 2 відрізняється від базового великим зовнішнім діаметром статора і відповідно великими посадочними діаметрами в передній і задній кришках і подовженим вузлом випрямлячів в зв'язку з наявністю додаткового випрямляча.

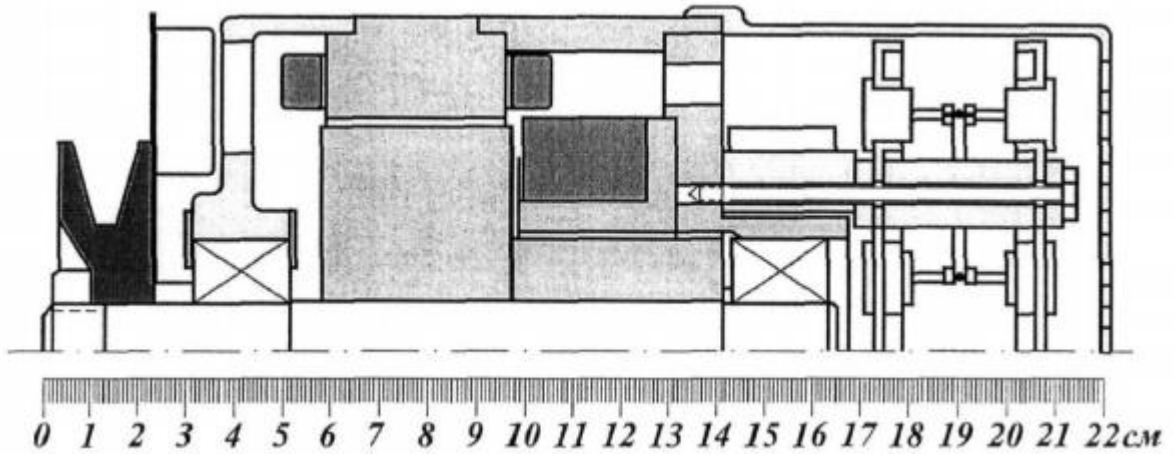


Рис.3.5 Поздовжній розріз базового генератора (варіант 1)

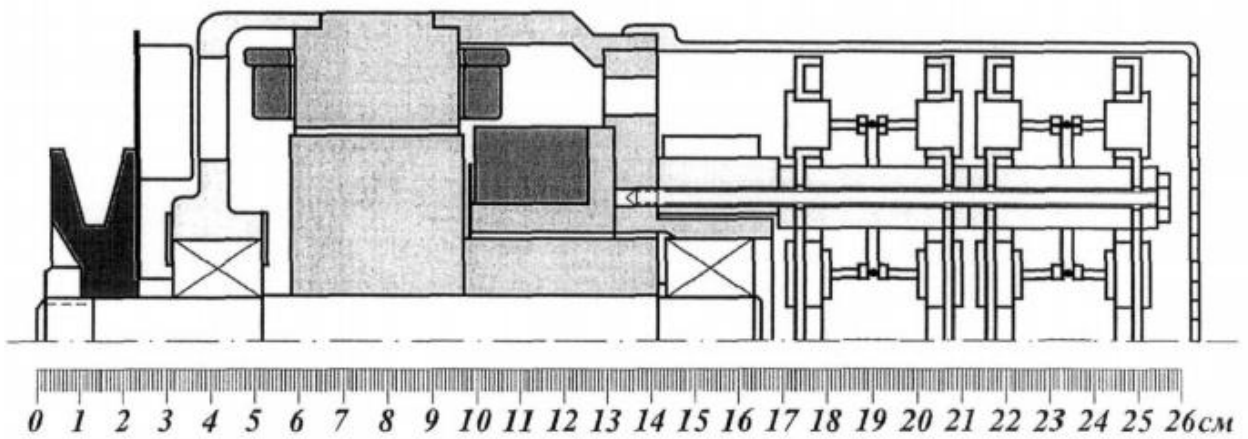


Рис.3.6 Поздовжній розріз ГДР (варіант 2)

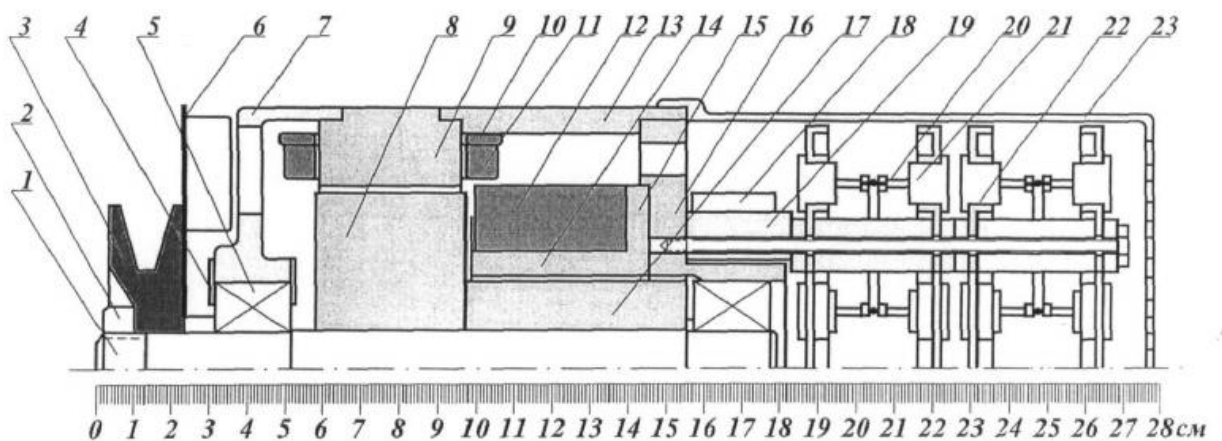


Рис.3.7 Поздовжній розріз ГДР (варіант 3)

Варіант 3 відрізняється від базового подовженими обмоткою збудження і відповідно внутрішніми і зовнішніми магнітопроводами, а також наявністю додаткового випрямляча.

Специфікація основних вузлів і деталей:

1. Вал ротора;
2. Гайка кріплення шківів;
3. Шків;
4. Тримач підшипника;
5. Підшипники;
6. Крильчатка відцентрового вентилятора;
7. Алюмінієва кришка з боку приводу;
8. Пакет ротора;
9. Пакет статора;
10. Котушка верхньої обмотки;
11. Котушка нижньої обмотки;
12. Обмотка збудження;
13. Юбка металевої кришки - зовнішній осьовий магнітопровід;
14. Нерухома втулка - внутрішній осьовий магнітопровід;
15. Фланець нерухомої втулки;
16. Фланець металевої кришки - радіальна частина зовнішнього магнітопроводу;
17. Обертова втулка на валу - внутрішній осьовий магнітопровід;
18. Блок інтегральних регуляторів напруги;
19. Пластмасові дистанційні втулки;
20. З'єднання діодів з лінійними виходами;
21. Діоди випрямлячів;
22. Тепловідведення випрямляча;
23. Задня пластмасова кришка.

На рис. 3.8 наведені струмошвидкісні характеристики спроектованих зразків. На рис. 3.8, а наведено струмошвидкісні характеристики базового генератора і нижнього рівня варіанту 3.

Видно, що повністю компенсувати зменшення числа витків не вдалося, швидкість початку віддачі підвищилася з 1300 до 1420 об / хв (на 9%). При цьому еквівалентний зарядний струм в транспортному режимі знизився на 5%. Проте, характеристика прийнятна.

На рис. 3.8,б приведена узагальнена струмошвидкісна характеристика для варіанту 2. Як і очікувалося, при $x = 1$ характеристика збігається з струмошвидкісною характеристикою базового варіанту.

На рис. 3.8, в наведена узагальнена струмошвидкісна характеристика для варіанту 3. Характеристика забезпечує баланс електроенергії на тракторі не дивлячись на деяке підвищення швидкостей початку віддачі.

Таблиця 3.1 – Порівняльні дані по масі генераторів

Варіанти	1	2	3
Маса, кг	9,10	9,88	10,40

Порівняльні дані підтверджують висновки, що виконання ГДР зі збільшенням діаметра (варіант 2) статора для розміщення додаткової обмотки близько до базової конструкції.

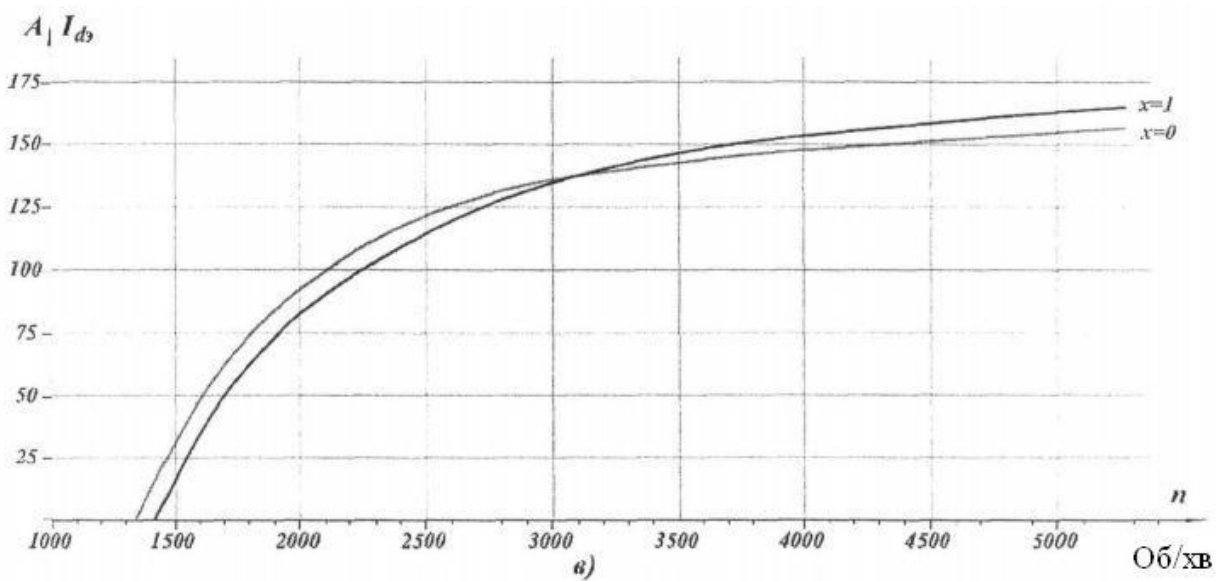
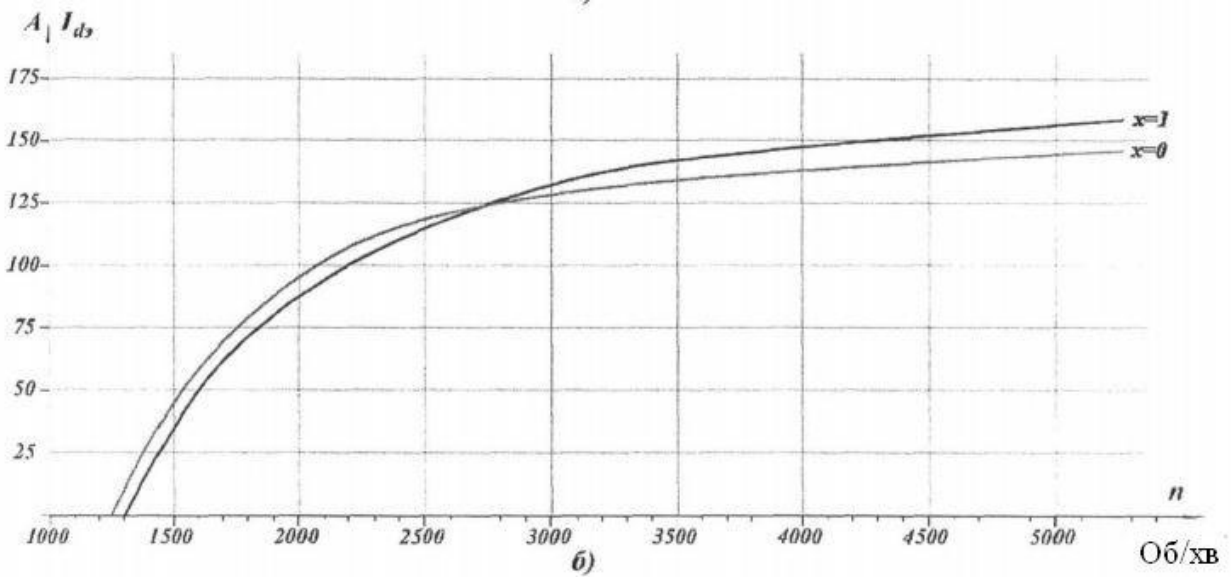
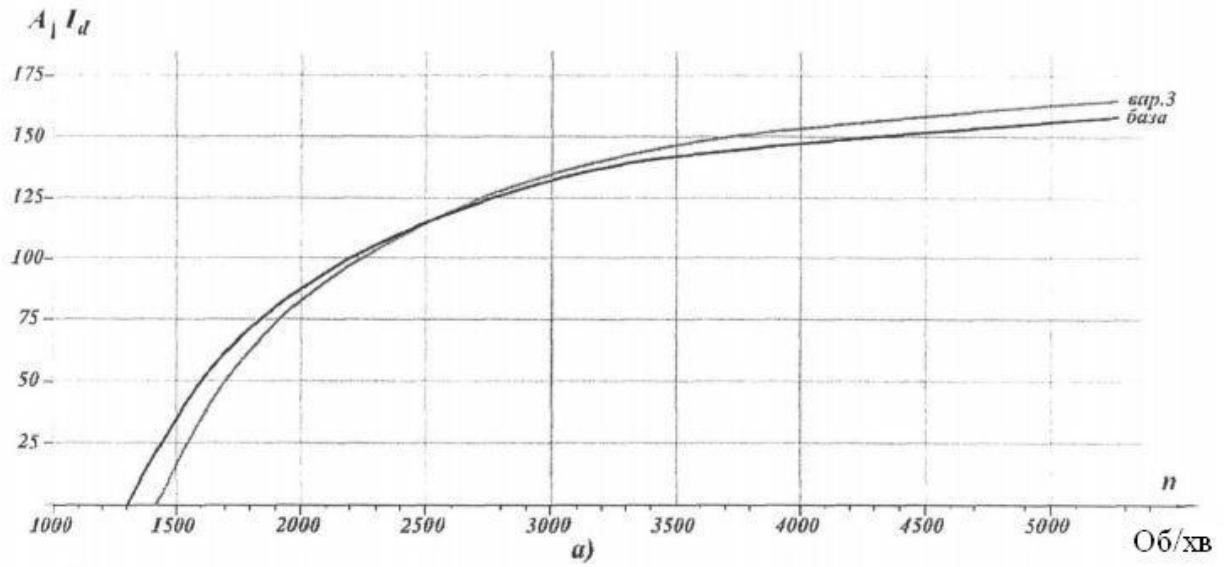


Рис. 3.8. Струмошвидкісні характеристики спроектованих зразків ГДР

Проектування і дослідження зразків ГДР проводилось на спеціалізованій математичній моделі індукторної машини, яка розроблена і експлуатувалася на АЗТЕ. Автор брав участь в доопрацюванні моделі. Модель являє собою пакет програм автоматично генеруючих і вирішальних системи рівнянь, що описують стан електричних і магнітних кіл і простих механічних систем, які і складають сутність будь-якого електромеханічного пристрою.

Під розробкою і доопрацюванням моделі мається на увазі розробка необхідних для моделювання об'єкта компонент: математичний опис і алгоритми його реалізації, номенклатура вхідних і вихідних параметрів, стикування або включення вихідних даних моделі у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь в загальну систему рівнянь повної моделі.

Моделювання індукторного генератора і ГДР зокрема здійснюється в кілька етапів описаних нижче.

Введення даних електричного кола. Тут задається схема підключення (з'єднань всіх елементів) - обмоток, силових діодів і тиристорів, акумуляторних батарей, опорів навантажень, комутуючих елементів та ін.

Розробка схеми заміщення магнітного кола. Магнітна система генератора представляється у вигляді схеми заміщення, що складається на зразок електричної схеми заміщення з гілок і вузлів в якій включені в основному двухполюсники - джерела НС, магнітні опори, але також і багатопольсника, в тому випадку, коли простіше привести систему рівнянь багатопольсника ніж уявити його внутрішню схему у вигляді сполук двухполюсників. Розроблена схема заміщення магнітного кола ГДР.

Ввід даних магнітного ланцюга при наявності схем заміщення магнітних кіл і даних елементів принципово не відрізняється від вводу даних електричного кола.

Крім вводу схем в моделі задається алгоритм роботи деяких елементів, що управляють, які недоцільно описувати детально як об'єкт моделювання. В даному випадку робота регуляторів напруги була описана алгоритмом. Ввід

алгоритму здійснюється у вигляді програми на простій мові, що нагадує асемблер мікропроцесорів.

Завдання даних характеризують режим роботи і моделювання. Наприклад - частота обертання валу, опір навантаження, наявність батарей, рівень регульованої напруги. Дані для моделювання - час роботи моделі, початкові дані, список величин для виведення у вигляді кривих (симуляція осцилографа), список величин для запам'ятовування у вигляді масиву в часі і різної математичної обробки - наприклад, визначення діючих та середніх значень, виділення максимуму, поділ перехідного і усталеного режимів.

Робота на моделі - старт моделює програми, спостереження, аналіз, реєстрація і запам'ятовування даних виведення. Висновок здійснюється як в графічному вигляді на екрані, так і у вигляді файлів - масивів величин, визначених у процесі моделювання.

ВИСНОВОК

У роботі обґрунтовані раціональні параметри і режими роботи генераторної установки на два рівня напруги для електропостачання бортових систем сільськогосподарських машин. Основні результати виконаної роботи полягають в наступному:

1. Виконаний в роботі аналіз показав, що в даний час системи електропостачання сільськогосподарських машин не задовольняють основним вимогам, що пред'являються до генераторної установки, як основного елементу системи електропостачання. Назріла необхідність обґрунтування і розробки конструкції генератора на два рівня напруги 12/24 В, що володіє хорошими техніко - економічними показниками, високою надійністю і якістю випрямленої напруги на обох рівнях.

2. Розроблено алгоритми синтезу схеми заміщення магнітного кола індукторного генератора з двома трансформаторно пов'язаними обмотками і постійними магнітами в пазах ротора. Схема заміщення складена для використання її в повній математичній моделі генератора, яка дозволяє визначити миттєві і діючі значення струмів і напруг без зміни структури схеми заміщення проводити розрахунки вихідних характеристик генераторної установки.

3. У роботі запропонована і досліджена конструкція генератора з двома трансформаторно з'єднаними обмотками. Встановлено, що ГДР забезпечує будь-який розподіл потужності навантаження між рівнями, має при рівних або трохи менших втратах додаткову витрату електротехнічних матеріалів близько 40% від якірної міді і сталі зубців статора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акимов С. В., Здановский А. А., Корец А. М. Справочник по электрооборудованию автомобилей. Москва : Машиностроение, 1994. 544 с.
2. Данов Б. А. Электрооборудование военной автомобильной техники Рязань : Военный автомобильный институт, 2005. 598 с.
3. Акимов С. В. Электрооборудование автомобилей. Москва : ЗАО «КЖИ» «За рулем», 2004. 384 с.
4. Малюгин П. Н. Автомобильные генераторы: Методические указания к лабораторной работе № 3 по дисциплине «Электрооборудование автомобилей» Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. 28 с.
5. Высоцкий В. Е., Зубков Ю. В., Тулупов П. В. Математическое моделирование и оптимальное проектирование вентильных электрических машин. Москва : Энергоатомиздат, 2007. 340 с.
6. Білоконь Я. Ю., Окоча А. І. Трактори і автомобілі. Київ : Урожай, 2002. 322 с.
7. Сажко В.А. Електричне та електронне обладнання тракторів та автомобілів. Київ : Каравела, 2004. 304 с.
8. Лудченко О.А. Технічне обслуговування та ремонт автомобілів: підручник. Київ : Знання-Прес, 2003. 511. с.
9. Бойко М. Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання: Навч. посіб. Київ : Вища освіта, 2001. 243 с.
10. Грудей Д. А. Двигун внутрішнього згоряння: Методичний посібник. Чернівці, 2011. 78с.
11. Павленко В. А. Електрообладнання тракторів, комбайнів, автомобілів і землерийних машин. Київ : Урожай, 1991. 447 с.
12. Тиминский В. И. Справочник по электрооборудованию автомобилей, тракторов, комбайнов. Минск : Ураджай, 1985. 255 с.

13. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. Київ : Грамота, 2003. Кн. 1: Трактори. 336 с.
14. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів : підручник. Київ : Либідь, 2006. 400 с.
15. Мельников Д. І. Трактори і автомобілі. Київ : Головне видавництво видавничого об'єднання "Вища школа", 1978. 264 с.
16. Зубков Ю. В. Расчет магнитного поля вентильного генератора совмещенного типа. *Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: Тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф., ч. 1.* Тольятти, 2012. С. 40-46.
17. Ключев В. И. Теория электропривода. Москва : Энергоатомиздат, 2001. 697 с